

Sedimentology of Tsunamis - A New Approach to Quantitative Evaluation of Ancient Tsunami Events -

著者	菅原 大助
号	49
学位授与番号	2272
URL	http://hdl.handle.net/10097/39323

氏 名・(本 籍)	菅 原 大 助
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2 2 7 2 号
学位授与年月日	平 成 1 8 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科, 専 攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地学専攻
学 位 論 文 題 目	Sedimentology of Tsunamis – A New Approach to Quantitative Evaluation of Ancient Tsunami Events – (津波の堆積学—古い津波イベントに関する定量的評価の試み)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 箕 浦 幸 治 教 授 今 村 文 彦, 大 槻 憲四郎 助教授 高 橋 智 幸

論 文 目 次

1. Introduction	2
2. Tsunamis - their generation, propagation and quantification	5
2.1 Generation of tsunamis	6
2.2 Propagation of tsunamis	10
2.3 Quantification of tsunamis	15
3. Tsunami sedimentology	18
3.1 Mechanism of sediment transportation by tsunamis.....	20
3.2 Environments of erosion and deposition by tsunamis	26
3.3 Characteristics of onshore tsunami deposits	34
3.4 Issues on tsunami sedimentology	44
4. Case studies on historical tsunami deposits	49
4.1 Tsunami deposit by the 1854 Ansei-Tokai Earthquake Tsunami, southwest Izu Peninsula, central Japan.....	49
4.2 Tsunami deposit by the A.D. 869 (Jogan 11) Earthquake Tsunami, Pacific coast of northeast Japan	71
5. Hydraulic experiment of tsunami sedimentation	98
5.1 Introduction	98
5.2 Settings of the experiment	99
5.3 Results of the experiment	109
5.4 Discussion	118
6. Concluding remarks	120
References.....	122

論文內容要旨 (英文)

A major purpose of this study is to clarify sedimentation processes by modern and ancient tsunami events. Another significant purpose is to reveal the relationship between tsunami deposit and tsunami magnitude for the quantitative evaluation of ancient tsunami events. This study consists of a review of previous studies on tsunami deposits, geological investigations of ancient tsunami deposits, and an examination of tsunami sedimentation based on a hydraulic experiment.

This paper provides a review of literatures on tsunami deposits that have clarified the diversity of tsunami deposits. Distribution and characteristics of known tsunami deposits were fully described. Sedimentation process by ancient (unobserved) tsunamis can be explained based on the analogue of modern (observed) tsunami sedimentation. Development of coastal topography can be interpreted on the basis of tsunami sedimentology. The key problems on identification of tsunami deposits and quantitative evaluation of unobserved tsunami events were discussed in the review. Differentiation between storm and tsunami deposits is still problematic, because of the similarity of both phenomena as an agent of erosion and deposition in the coastal zones. Investigation of the hydrodynamic difference between tsunamis and storms may provide the criteria for the differentiation. Since tsunami deposits are a physical evidence of tsunami invasions, it is possible to evaluate quantitatively the magnitude of the tsunami. Quantitative evaluation of unobserved tsunami events will contribute directly to the risk-assessment programs of tsunami disasters, and will increase the significance of tsunami sedimentology.

This paper describes two tsunami deposits associated with the 1854 Ansei-Tokai and the 869 Jogan Earthquake Tsunamis. Sedimentation processes of the two unobserved tsunami invasions were discussed. The Ansei-Tokai tsunami deposit was identified at Iruma, southwest Izu Peninsula. The tsunami deposit distributes locally in the head of a V-shaped bay and has an estimated thickness of more than 10 m, forming a huge mound of sand. The sedimentological structure was compatible with the description in the historical documents. The seafloor of the Iruma Bay was covered by medium- to coarse-grained sand, and was estimated to have been the source of the tsunami deposit. According to the grain-size analysis, the tsunami deposit is coarser than the sea-bottom sediment. This implies that the tsunami runup transported a huge amount of marine sand toward the land, and deposited the coarser fractions on the land. The finer fractions, which comprise a large percentage of the marine sand, may have returned into the sea by backwash. The Jogan tsunami deposit was identified in the Sendai Plain, the Pacific coast of northeast Japan. The tsunami deposit is traceable up to 5 km from the present coastline, forming a sheet of fine sand. The tsunami deposit decreases in thickness landward, from several tens to several centimeters. This suggests that the Sendai Plain was inundated extensively by one of the largest tsunami in the history. Paleontological analysis showed that the tsunami deposit contains abundant brackish diatoms. Result of the submarine investigation revealed that the sandy sea bottom ends within one kilometer from the present coastline. This implies that the tsunami deposit was derived from near-shore environments.

A hydraulic experiment regarding tsunami sedimentation was performed to investigate sedimentation process of tsunamis and to establish quantitative relationship between deposition and the magnitude of tsunami. The simulated tsunami deposit shares sedimentological characteristics with typical onshore tsunami deposit. Sediment distribution by the tsunami runup was completely altered by the backwash. Deposition and flux by the tsunami runups was plotted in a diagram, which illustrates a linear increase of deposition in proportion to the increase of flux. Although the result of the experiment is not applicable directly to real tsunami sedimentation, the hydraulic approach will

increase our knowledge on tsunami sedimentology and will provide a methodology to estimate the magnitude of ancient tsunamis.

論文内容要旨(和文)

本研究の主要な目的は、最近、あるいは古い津波イベントによる堆積現象の解明にある。また、津波の規模と堆積物の関係を見出し、古い津波イベントを定量的に評価する方法を検討することも、目的のひとつである。本研究は、津波堆積物に関する既往研究のレビュー、古い津波堆積物に関する地質学的調査、水理実験による津波堆積作用の検討で構成される。

本研究では、始めに、既往研究のレビューを行い、津波堆積物の分布、特徴を詳細に記述した。これによって津波堆積物の多様性が明らかになった。非観測津波の堆積作用は、観測津波の堆積作用からの類推によって説明され、また、海岸地形の発達には、津波の堆積学を基に解釈できる。このような津波の堆積学に関する問題として、津波堆積物の識別と古い津波の定量的評価について考察を行った。たとえば、嵐の堆積物と津波堆積物を区別するのは、依然として困難である。これは、海岸における侵食、堆積要因としての嵐、津波の相似性に由来する。双方の流体力学的性質の差異を明らかにすることで、区別のための基準が導かれると考えられる。津波堆積物は、津波遡上の物的証拠であるので、それを基に津波の規模を推定することが可能であると思われる。非観測津波の定量的な評価は、災害リスクの検討において大きな貢献を果たすと期待される。これは、津波の堆積学の重要性を高めることにも繋がる。

次に、1854年安政東海地震津波と869年貞観地震津波による堆積物について調査を行い、それらの堆積作用を考察した。伊豆半島南部入間では、安政東海地震津波の堆積物が見出された。この津波堆積物はV字形湾の奥の狭い範囲に分布しているが、その厚さは10m以上あると見積もられ、大きな砂の山を形成している。掘削調査の結果得られた津波堆積物の特徴は、聞き取り調査による証言、史料の記述と一致していることが明らかとなった。一方、入間湾の海底は、中～粗粒の砂で覆われており、これが津波堆積物の供給源となったと推定される。粒度分析の結果、津波堆積物は海底の砂よりも粗い粒度組成を持つことが判明した。このことは、津波によって大量の海砂が陸に向かって運搬されたものの、その極一部である粗粒成分だけが陸上に堆積したことを示唆している。海砂の大部分を占める細粒成分は、引き波によって海へ戻ったと考えられる。

貞観津波による堆積物は、仙台平野において見出された。この津波堆積物は、海岸からおおよそ5 km内陸まで追跡される、細粒砂層である。堆積物の厚さは数10cmから数cmまで、内陸方向に向かって減少する。このことは、貞観津波は仙台平野の広い範囲に遡上した、歴史上最大規模の津波であったことを示している。古生物学的分析の結果、津波堆積物には多くの汽水性珪藻殻が含まれることが明らかとなった。また、仙台湾沿岸部の海底調査の結果、砂質の海底は海岸線からおおよそ1 kmのところで終わり、それより沖合では泥の底質となっていることが判明した。これらのことは、海岸のごく近くにある堆積物が津波で運搬され、津波堆積物となったことを示唆している。

津波の堆積作用を解析して、津波規模と堆積物の関係を明らかにするために、津波の堆積現象を想定した水理実験を実施した。実験で生成した津波堆積物は、実際の、典型的な津波堆積物の特徴を示している。遡上によって形成された堆積物の分布は、引き波によって完全に変化することが明らかとなった。遡上による堆積量と水流量の関係を図に表すと、堆積量は流量の増加とほぼ直線的な相関を示すことが明らかとなった。本実験の結果は、現時点では実際の津波に対してそのまま適用することはできないものの、水理実験は津波堆積作用を理解するための有力な手法の一つであることが指摘できる。また、古

い津波の規模を推定する方法も，本実験で示したような水理学的データと考察から導かれると考えられる。

論文審査の結果の要旨

津波は、海洋における波動のうちもっとも劇的な海洋現象の1つであり、しばしば大規模な災害を引き起こして社会的にも大きな関心を集めている。既往の研究により津波が海浜物質を運搬・集積する事実が明らかにされて以来、歴史・先史津波の襲来履歴を解明する手段として、地層に挟在する津波堆積物の研究の重要性が指摘されてきた。津波の水理学的挙動や海岸環境の複雑さから、津波堆積物には起源の多様性が認識されつつあり、その識別法や解釈には多くの問題点が指摘されている。津波堆積物の特性を利用して過去の津波の規模と波高を定量的に推定する試みがあるが、特性の評価法に関しても議論がなされている。

菅原大助提出の博士論文では、津波による物質運搬と堆積の現象の解明を目的として、2つの歴史津波による堆積作用の解析を行っている。更に、歴史・先史津波による災害現象の定量的評価方法の構築を目的として、堆積学的データを初期条件とする歴史津波の数値復元と津波堆積作用を模した水理実験を試みている。こうした解析結果の考察により、以下に代表される結論を得ている。

伊豆半島南部入間で認められる大規模な地形変形は西暦1854年安政東海地震津波がもたらした堆積作用による事実を明らかにした。この津波により、30m以浅の海底に分布する中～粗粒砂が陸上に運搬され、高さ16mに達する砂のドームが形成されたとしている。粒度分析の結果により津波堆積物が極めて淘汰の良い粗粒砂から構成されている事実が明らかとなった。従って、津波によって運搬された前浜の砂のうち粗粒成分が陸上に遺棄され、細粒成分は戻り流れにより海に移送されたと解釈している。安政東海地震津波の数値的復元の結果、このような特異な堆積作用を生じた原因として、入間湾の深く狭長な地形と津波周期により励起された湧水振動が挙げられるとしている。これらの水理学的条件により津波波高の極端な増大が招来され、大規模な土砂移動を生じたと結論している。

宮城県南部仙台平野と福島県北部相馬に分布する津波堆積物の堆積学的解析により、西暦869年貞観地震津波の発生と襲来を明らかにした。この津波堆積物は、仙台平野においては海岸からおよそ5km内陸までほぼ連続的に分布し、堆積物の厚さが内陸側に漸威的に減少する。この事実は、貞観津波が、仙台から相馬にかけての太平洋沿岸域に広く溯上し、日本の歴史上最大規模の津波であったことを示している。津波堆積物には多くの汽水性珪藻殻が含まれている。潜水調査により、仙台湾沿岸部の海底は、海岸線からおよそ1kmを境に水深20m以深の沖合では泥の底質となっていることが判明した。これらの観測結果は、前浜の堆積物が津波で侵蝕・移送され、陸側に堆積した事実を示唆している。本研究では、津波堆積物の分布と史料の記述を基に貞観津波の数値的復元を行い、貞観津波は宮城県沖の日本海溝沿いを震源域とするマグニチュード8.3の地震によって生じたと結論している。津波の波高復元の結果は、貞観津波の高さは宮城県南部から福島県北部にかけて6～12メートル程度であったことを示している。

本研究では、津波の溯上による堆積量と水流量の関係について水理実験を行っており、堆積量と流量の間にほぼ直線的な相関が見られる事実を明らかにしている。この実験により、堆積粒子の陸側細粒化などの、典型的な津波堆積物の特徴を再現することにも成功している。本実験の結果を実際の津波に対してそのまま適用することには問題点があるものの、津波堆積作用を理解するための有力なデータを提供するものと考えられる。歴史・先史津波の規模の推定を目的としてこの実験により得られた津波堆積物の分布と津波および流速の定量的な関係は、過去の津波の水理学的復元に際して適用できると期待される。

以上の研究成果と独創的な考察は、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、菅原大助提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。